

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200580016318.8

[51] Int. Cl.

C22C 38/44 (2006.01)

C22C 38/50 (2006.01)

C22C 38/46 (2006.01)

C21D 8/00 (2006.01)

[45] 授权公告日 2009 年 3 月 18 日

[11] 授权公告号 CN 100469937C

[22] 申请日 2005.5.12

[21] 申请号 200580016318.8

[30] 优先权

[32] 2004.5.21 [33] FR [31] 0405535

[86] 国际申请 PCT/FR2005/001191 2005.5.12

[87] 国际公布 WO2005/123975 法 2005.12.29

[85] 进入国家阶段日期 2006.11.21

[73] 专利权人 工业钢克鲁梭公司

地址 法国皮托

[72] 发明人 让·贝居伊诺特 多米尼克·维亚勒

[56] 参考文献

JP 2001-123247A 2001.5.8

审查员 王怀东

[74] 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

代理人 于 辉

权利要求书 5 页 说明书 24 页 附图 1 页

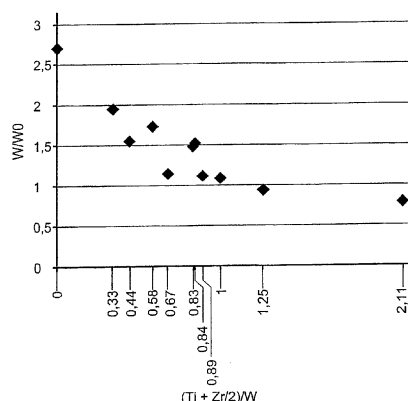
[54] 发明名称

具有高机械强度和高耐磨性的钢

[57] 摘要

本发明涉及一种具有高机械强度和高耐磨性的钢。更具体地,本发明涉及一种降低钢的分聚接缝的方法,所述钢具有高机械强度和高耐磨性,并具有以下重量组成: $0.30\% \leq C \leq 1.42\%$; $0.05\% \leq Si \leq 1.5\%$; $Mn \leq 1.95\%$; $Ni \leq 2.9\%$; $1.1\% \leq Cr \leq 7.9\%$; $0.61\% \leq Mo \leq 4.4\%$; 任选存在的 $V \leq 1.45\%$, $Nb \leq 1.45\%$, $Ta \leq 1.45\%$ 并且 $V + Nb/2 + Ta/4 \leq 1.45\%$; 小于等于 0.1% 的硼, 小于等于 0.19% 的 $(S + Se/2 + Te/4)$, 小于等于 0.01% 的钙, 小于等于 0.5% 的稀土金属, 小于等于 1% 的铝, 小于等于 1% 的铜; 剩余的是铁和源自所述钢的生产的杂质。所述组成也包含: $800 \leq D \leq 1150$, 其中 $D = 540(C)^{0.25} + 245(Mo + 3V + 1.5Nb + 0.75Ta)^{0.30} + 125Cr^{0.20} + 15.8Mn + 7.4Ni + 18Si$ 。根据本发明, 用两倍比例的钨取代全部或部分的钼,

从而 $W \geq 0.21\%$, 并且调节 Ti、Zr 和 C 使得在所述调节之后 $Ti + Zr/2 \geq 0.2W$, $(Ti + Zr/2) \times C \geq 0.07$, $Ti + Zr/2 \leq 1.49\%$ 并且 D 以 5% 的变化范围保持不变。本发明还涉及所获得的钢以及生产钢部件的方法。



1. 降低钢的分聚接缝的不利作用的方法, 所述钢具有高机械强度和高耐磨性, 并且其在实施所述方法前的组成以重量%计包含:

$$0.30\% \leq C \leq 1.42\%$$

$$0.05\% \leq Si \leq 1.5\%$$

$$Mn \leq 1.95\%$$

$$Ni \leq 2.9\%$$

$$1.1\% \leq Cr \leq 7.9\%$$

$$0.61\% \leq Mo \leq 4.4\%$$

- 一种或多种选自钒、铌和钽的元素, 它们的含量为 $V \leq 1.45\%$ 、 $Nb \leq 1.45\%$ 、 $Ta \leq 1.45\%$ 并且 $V + Nb/2 + Ta/4 \leq 1.45\%$,

- 不大于 0.1% 的硼,

- 不大于 0.19% 的硫, 不大于 0.38% 的硒和不大于 0.76% 的碲, $S + Se/2 + Te/4$ 的总量保持小于或等于 0.19%,

- 不大于 0.01% 的钙,

- 不大于 0.5% 的稀土金属,

- 不大于 1% 的铝,

- 不大于 1% 的铜,

剩余的是铁和源自生产操作的杂质,

所述组成还符合:

$$800 \leq D \leq 1150$$

其中:

$$D = 540 (C)^{0.25} + 245 (Mo + 3 V + 1.5 Nb + 0.75 Ta)^{0.30} + 125 Cr^{0.20} + 15.8 Mn + 7.4 Ni + 18 Si$$

根据所述方法:

- 用两倍比例的钨完全或部分取代钼, 从而钨的含量 W 大于或

等于 0.21%且小于或等于 4.9%，

- 调整钛和/或锆的含量以及碳的含量，使得调整后它们的含量如下，假设 C' 是调整后碳的含量并且 C 是调整前碳的含量：

$$0.65\% \leq C' \leq 1.47\%$$

$$Ti + Zr/2 \geq 0.20 \times W$$

$$C' = C + Ti/4 + Zr/8$$

$$(Ti + Zr/2) \times C' \geq 0.07$$

并且 $Ti + Zr/2 \leq 1.49\%$ ，

在钢厂中实施那些分析调整的精度是：

$$0.95 \times \text{调整前的 } D \leq \text{调整后的 } D \leq 1.05 \times \text{调整前的 } D,$$

其中：

$$\text{调整后的 } D = 540 (C' - Ti/4 - Zr/8)^{0.25} + 245 (\text{调整后的 } Mo + W/2 + 3V + 1.5Nb + 0.75Ta)^{0.30} + 125Cr^{0.20} + 15.8Mn + 7.4Ni + 18Si。$$

2. 根据权利要求 1 的方法，其特征在于当铬的含量为 2.5 – 3.5% 时，如果组成调整前碳的含量是 $C \geq 0.51\%$ ，那么如果调整后 $Mo < 1.21\%$ ，则 $W \leq 0.85\%$ ，并且如果调整后 $Mo \geq 1.21\%$ ，则 $W/Mo \leq 0.7$ 。

3. 根据权利要求 1 或权利要求 2 的方法，其特征在于：

调整后的 $D =$ 调整前的 D 。

4. 根据权利要求 1-3 任一项的方法制备的具有高机械强度和高耐磨性的钢，所述钢的化学组成以重量%包含：

$$0.65\% \leq C \leq 1.47\%$$

$$0.05\% \leq Si \leq 1.5\%$$

$$Mn \leq 1.95\%$$

$$Ni \leq 2.9\%$$

$$1.1\% \leq \text{Cr} \leq 7.9\%$$

$$0\% \leq \text{Mo} \leq 4.29\%$$

$$0.21\% \leq \text{W} \leq 4.9\%$$

$$0.61\% \leq \text{Mo} + \text{W}/2 \leq 4.4\%$$

$$0\% \leq \text{Ti} \leq 1.49\%$$

$$0\% \leq \text{Zr} \leq 2.9\%$$

$$0.21\% \leq \text{Ti} + \text{Zr}/2 \leq 1.49\%$$

- 一种或多种选自钒、铌和钽的元素，它们的含量为 $\text{V} \leq 1.45\%$ 、 $\text{Nb} \leq 1.45\%$ 、 $\text{Ta} \leq 1.45\%$ 并且 $\text{V} + \text{Nb}/2 + \text{Ta}/4 \leq 1.45\%$ ，

- 不大于 0.1% 的硼，

- 不大于 0.19% 的硫，不大于 0.38% 的硒和不大于 0.76% 的碲， $\text{S} + \text{Se}/2 + \text{Te}/4$ 的总量保持小于或等于 0.19%，

- 不大于 0.01% 的钙，

- 不大于 0.5% 的稀土金属，

- 不大于 1% 的铝，

- 不大于 1% 的铜，

剩余的是铁和源自生产操作的杂质，

所述组成符合下面的条件：

$$(\text{Ti} + \text{Zr}/2)/\text{W} \geq 0.20$$

$$(\text{Ti} + \text{Zr}/2) \times \text{C} \geq 0.07$$

$$0.3\% \leq \text{C}^* \leq 1.42\%，\text{ 其中 } \text{C}^* \text{ 等于调整组成前的碳含量，}$$

$$800 \leq \text{D} \leq 1150$$

其中

$$\text{D} = 540 (\text{C}^*)^{0.25} + 245 (\text{Mo} + \text{W}/2 + 3 \text{V} + 1.5 \text{Nb} + 0.75 \text{Ta})^{0.3} + 125 \text{Cr}^{0.20} + 15.8 \text{Mn} + 7.4 \text{Ni} + 18 \text{Si}$$

并且

$$\text{C}^* = \text{C} - \text{Ti}/4 - \text{Zr}/8，$$

并且, 此外如果 $C^* \geq 0.51\%$ 并且如果 $2.5\% \leq Cr \leq 3.5\%$, 那么如果 $Mo < 1.21\%$, 则 $W \leq 0.85\%$, 并且如果 $Mo \geq 1.21\%$, 则 $W/Mo \leq 0.7$ 。

5. 根据权利要求4的钢, 其特征在于:

$$C^* \leq 1.1\%。$$

6. 根据权利要求4或5的钢, 其特征在于:

$$W \leq 0.85\%。$$

7. 根据权利要求4或5的钢, 其特征在于:

$$Si \geq 0.45\%。$$

8. 根据权利要求4或5的钢, 其特征在于:

$$Si < 0.45\%。$$

9. 根据权利要求4或5的钢, 其特征在于:

$$Mo + W/2 \geq 2.2\%。$$

10. 根据权利要求4或5的钢, 其特征在于:

$$Cr \geq 3.5\%。$$

11. 根据权利要求4或5的钢, 其特征在于:

$$C \leq 0.85\%。$$

12. 根据权利要求4或5的钢, 其特征在于:

$$C > 0.85\%。$$

13. 根据权利要求 4 或 5 的钢，其特征在于：

$$\text{Ti} + \text{Zr}/2 < 0.7\%。$$

14. 根据权利要求 4 或 5 的钢，其特征在于：

$$\text{Ti} + \text{Zr}/2 \geq 0.7\%。$$

15. 生产根据权利要求 4-14 任何一项的钢的工件的方法，其特征在于：

- 生产具有所需组成的液态钢，其中调整熔融钢浴中的钛和/或锆的含量，并且一直防止所述熔融钢浴中钛和/或锆局部浓度过量；
- 浇铸所述钢以便获得半成品；
- 然后，使所述半成品通过在热状态中塑性形变而接受成形加工操作，并且任选地接受热加工操作，以便获得所述工件。

16. 根据权利要求 15 的方法，其特征在于通过向覆盖所述液态钢浴的熔渣中逐渐加入钛和/或锆并且使所述钛和/或锆在所述液态钢浴中缓慢扩散来进行钛和/或锆的添加。

17. 根据权利要求 15 的方法，其特征在于通过在搅拌所述液态钢浴的同时将包含钛和/或锆的金属丝引入所述液态钢浴中进行钛和/或锆的添加。

18. 根据权利要求 4-14 任何一项的钢的工件，所述工件能够通过根据权利要求 15-17 任何一项的方法获得。

具有高机械强度和高耐磨性的钢

技术领域

本发明涉及具有高机械强度和高耐磨性的钢。

背景技术

在大量的工业中，使用具有高耐磨性的钢。举例来说，这些钢是用来制造矿业设备部件的并且必须耐磨的钢。它们还是用来制造用于冷成形或者在中等温度下形成金属工件的工具的钢，并且由于金属与金属类型的摩擦这些钢必须耐磨。对于这些加工工具的应用，尽管将钢加热至可能达到 500℃ 或 600℃ 的温度，但是钢至少必须保持良好的性质。

除了耐磨性外，为了能够加工或者焊接，此处考虑的钢还必须具有适当的性质。最后，它们必须能够耐受冲击或者强烈负荷。

一般来说，为了获得所有所需的性质，通常使用包含大约 0.3% - 1.5% 的碳、小于 2% 的硅、小于 2% 的锰、任选存在的不大于 3% 的镍、1% - 12% 的铬、0.5% - 5% 的钼，任选还添加钒或铌的钢。

在那些钢中，耐磨性主要源于碳化钼的二级沉淀引起的硬化。如果需要可以通过存在特别富含铬的粗莱氏体碳化物来提高耐磨性。

但是，必需存在高含量的引起充分硬化并在温度方面稳定的二级沉淀的强的产生碳化物的元素，例如钼和钒，而这确实具有导致形成接缝的缺点，所述接缝在那些元素中和在碳中高度分聚，并因此非常硬且非常脆。那些分聚接缝使加工或焊接变得困难。此外，它们构成了尽管是局部的，但可能非常大地降低工件耐冲击性和耐强烈弯曲负荷的易碎区。

发明内容

本发明的目的是通过提供获得性质等价于已知钢的性质，但是大大降低了已知钢的涉及分聚接缝的不利作用的钢的方法来克服所述缺点。

为此，本发明涉及降低钢的分聚接缝的不利作用的方法，所述钢具有高机械强度和高耐磨性，并且其组成以重量百分数包含：

$$0.30\% \leq C \leq 1.42\%$$

$$0.05\% \leq Si \leq 1.5\%$$

$$Mn \leq 1.95\%$$

$$Ni \leq 2.9\%$$

$$1.1\% \leq Cr \leq 7.9\%$$

$$0.61\% \leq Mo \leq 4.4\%$$

- 任选存在的一种或多种选自钒、铌和钽的元素，它们的含量为 $V \leq 1.45\%$ 、 $Nb \leq 1.45\%$ 、 $Ta \leq 1.45\%$ 并且 $V + Nb/2 + Ta/4 \leq 1.45\%$ ，
- 任选存在的不大于 0.1% 的硼，
- 任选存在的不大于 0.19% 的硫，不大于 0.38% 的硒和不大于 0.76% 的碲， $S + Se/2 + Te/4$ 的总量保持小于或等于 0.19%，
- 任选存在的不大于 0.01% 的钙，
- 任选存在的不大于 0.5% 的稀土金属，
- 任选存在的不大于 1% 的铝，
- 任选存在的不大于 1% 的铜，

剩余的是铁和源自生产操作的杂质。所述组成还符合：

$$800 \leq D \leq 1150$$

其中：

$$D = 540 (C)^{0.25} + 245 (Mo + 3 V + 1.5 Nb + 0.75 Ta)^{0.30} + 125 Cr^{0.20} + 15.8 Mn + 7.4 Ni + 18 Si$$

根据所述方法:

- 用两倍比例的钨完全或部分取代钼, 从而钨的含量 W 大于或等于 0.21%,
- 并且添加用来主要在固化期间形成粗的碳化物的钛和/或锆, 并且碳的添加量 δC 等于 $Ti/4 + Zr/8$, 从而调整后碳的含量等于 $C' =$ 调整前的 $C + Ti/4 + Zr/8$ 。

钛和/或锆的添加含量是:

$$Ti + Zr/2 \geq 0.2 \times W$$

$$(Ti + Zr/2) \times C' \geq 0.07$$

也就是说, 考虑到 $C' = (C + Ti/4 + Zr/8)$

(其中 $C =$ 调整前的碳含量):

$$(Ti + Zr/2) \geq 2(-C + \sqrt{C^2 + 0.07})$$

并且 $Ti + Zr/2 \leq 1.49\%$ 。

最初形成钛和/或锆碳化物的碳的添加量 δC 不再有效, 并且因此不参与钼、钨、钒的碳化物, 以及其次是碳化铬的二级硬化沉淀。其取决于调整后的单体碳 $C^* = C' - Ti/4 - Zr/8$ 。这就导致除了与用于在锻制钢中进行观察的实际离差相关的离差外, 通过本发明方法不会改变钢的硬化。就此而言, 估计所得的因子 D 的离差不会超过 $\pm 5\%$, 从而可取地具有:

$0.95 \times$ 调整前的 $D \leq$ 调整后的 $D \leq 1.05 \times$ 调整前的 D , 其中调整后的 $D = 540 (C' - Ti/4 - Zr/8)^{0.25} + 245 (\text{调整后的 } Mo + W/2 + 3 V + 1.5 Nb + 0.75 Ta)^{0.30} + 125 Cr^{0.20} + 15.8 Mn + 7.4 Ni + 18 Si$ 。

优选调整组成, 使调整后的 $D =$ 调整前的 D 。

当铬的含量为 2.5 – 3.5% 时, 并且如果碳、钛和锆的含量是调整前的 $C \geq 0.51\%$, 优选限制 W 的含量, 从而在调整后,

如果 $Mo < 1.21\%$, 则 $W \leq 0.85\%$, 并且如果 $Mo \geq 1.21\%$, 则 $W/Mo \leq 0.7$ 。

本发明还涉及任选地能够通过根据本发明的方法获得的具有高机械强度和高耐磨性的钢，所述钢的化学组成以重量百分数包含：

$$0.35\% \leq C \leq 1.47\%$$

$$0.05\% \leq Si \leq 1.5\%$$

$$Mn \leq 1.95\%$$

$$Ni \leq 2.9\%$$

$$1.1\% \leq Cr \leq 7.9\%$$

$$0\% \leq Mo \leq 4.29\%$$

$$0.21\% \leq W \leq 4.9\%$$

$$0.61\% \leq Mo + W/2 \leq 4.4\%$$

$$0\% \leq Ti \leq 1.49\%$$

$$0\% \leq Zr \leq 2.9\%$$

$$0.21\% \leq Ti + Zr/2 \leq 1.49\%$$

- 任选存在的一种或多种选自钒、铌和钽的元素，它们的含量为 $V \leq 1.45\%$ 、 $Nb \leq 1.45\%$ 、 $Ta \leq 1.45\%$ 并且 $V + Nb/2 + Ta/4 \leq 1.45\%$ ，

- 任选存在的不大于 0.1% 的硼，

- 任选存在的不大于 0.19% 的硫，不大于 0.38% 的硒和不大于 0.76% 的碲， $S + Se/2 + Te/4$ 的总量保持小于或等于 0.19%，

- 任选存在的不大于 0.01% 的钙，

- 任选存在的不大于 0.5% 的稀土金属，

- 任选存在的不大于 1% 的铝，

- 任选存在的不大于 1% 的铜，

剩余的是铁和源自生产操作的杂质，

所述组成符合下面的条件：

$$(Ti + Zr/2)/W \geq 0.20$$

$$(Ti + Zr/2) \times C \geq 0.07$$

$0.3\% \leq C^* \leq 1.42\%$, 并且优选 $\leq 1.1\%$

$800 \leq D \leq 1150$

其中

$$D = 540 (C^*)^{0.25} + 245 (\text{Mo} + \text{W}/2 + 3 \text{V} + 1.5 \text{Nb} + 0.75 \text{Ta})^{0.3} + 125 \text{Cr}^{0.20} + 15.8 \text{Mn} + 7.4 \text{Ni} + 18 \text{Si}$$

并且 $C^* = C - \text{Ti}/4 - \text{Zr}/8$,

并且此外如果 $C^* \geq 0.51\%$, 并且如果 $2.5\% \leq \text{Cr} \leq 3.5\%$, 那么如果 $\text{Mo} < 1.21\%$, 则 $\text{W} \leq 0.85\%$, 并且如果 $\text{Mo} \geq 1.21\%$, 则 $\text{W}/\text{Mo} \leq 0.7$ 。

此外, 所述钢优选符合下面的条件中的一个或多个:

$\text{Si} < 0.45\%$, 如果希望优先考虑热导率, 或者

$\text{Si} \geq 0.45\%$, 如果希望优先考虑适合热加工, 或者

$\text{Mo} + \text{W}/2 \geq 2.2\%$, 为了增加钢的抗软化性并且赋予其高强度;

$\text{Cr} \geq 3.5\%$, 为了有助于可淬火性和硬化;

$\text{C} \leq 0.85\%$, 如果希望优先考虑韧性,

或者

$\text{C} > 0.85\%$, 如果希望获得尽可能高的耐磨性。

为了优先考虑韧性, 所述钢可以进一步满足:

$\text{Ti} + \text{Zr}/2 < 0.7\%$

或者为了优先考虑耐磨性, 满足:

$\text{Ti} + \text{Zr}/2 \geq 0.7\%$ 。

本发明还涉及制造根据本发明的钢工件的方法, 根据所述方法:

- 生产具有所需组成的液态钢, 其中调整熔融钢浴中的钛和/或锆的含量, 优选一直防止所述熔融钢浴中钛和/或锆局部浓度过量;
- 浇铸所述钢以便获得半成品;
- 然后, 使所述半成品通过在热状态中塑性形变而接受成形加工

操作，并且任选地接受热加工操作，以便获得所述工件。

为了限制在液态浴中的暂时的过量浓度，优选通过向覆盖所述液态钢浴的熔渣中逐渐加入钛和/或锆并且使所述钛和/或锆在所述液态钢浴中缓慢扩散来进行钛和/或锆的添加。

还可以通过在搅拌所述液态钢浴的同时将包含钛和/或锆的金属丝引入所述液态钢浴中来进行钛和/或锆的添加。

最后，本发明涉及可以通过根据本发明的生产方法获得的根据本发明的钢工件。

具体实施方式

现在将更详细地，但是以非限制性的方式说明本发明，并且参照实施例和一个表示对于各种钢的钨的分聚率对比例 $(Ti+Zr/2)/W$ 的图来举例说明。

已知钨是对钢性质的影响与钼对钢性质的影响可比的合金元素。具体地说，已知在每一份钼两份钨的比例下，钨在硬化和抗热软化性方面具有与钼可比的作用。但是，除了在一些本发明不涉及的非常高合金化的钢中外，很少使用钨，特别是因为它远比钼昂贵。像钼一样，钨还具有非常强地分聚并且引起非常硬且非常脆的分聚接缝的缺点。

本发明人已经以新颖且惊人的方式证实在足够量的钛或锆的存在下，非常大地减弱了钨的分聚：另外当钼的含量也已经相对高时利用所述作用是特别有利的。

下面的假设可以澄清后面所述意外的结果：

- 例如钼和钨的元素以细沉淀的形式形成碳化物，这些碳化物硬化了基体并因此允许获得钢的所需硬度。特别是以钼或钨的过量浓度为特征的分聚接缝因此在硬化沉淀的密度方面具有大的增加并因此在硬度和脆性方面具有大的局部增加；

- 钛或锆也形成碳化物。但是，那些碳化物是相对粗的，因此数

量比较少并且对于金属基体自身没有任何显著的硬化作用;

- 本发明人已经以新颖且意外的方式证实当钢一方面包含钛和/或锆并且同时另一方面包含钨时, 钨具有与钛和/或锆一起沉淀的趋势, 以便形成粗的非硬化沉淀。

因此, 考虑上述观察结果, 可以认为在钛和/或锆的存在下, 钨的含量降低, 并因此硬化碳化物的细沉淀的密度降低, 并且更具体的是在其中粗的钛或锆碳化物远远更加大量的分聚接缝的区域, 而这正是因为分聚。一个结果将是因此大大地减弱分聚接缝和未分聚区之间的硬度差异, 并且因而降低分聚接缝的不利作用(具体地说是脆性增加区域的存在、加工困难、对抛光和颗粒化的不均匀的响应、通过焊接重建表面(resurfacing)……)。

以那些观察结果和上面已经提出的假设为基础, 本发明人想象出使包含显著比例的钨的钢的分聚接缝的缺点大大降低, 同时保持所述钢用途的所有必需性质的方法。

根据本发明的方法涉及在实施所述方法前主要包含 0.30% - 1.42%的碳、0.05% - 1.5%的硅、小于 1.95%的锰、小于 2.9%的镍、1.1% - 7.9%的铬、0.61% - 4.4%的钼, 任选存在的不大于 1.45%的钒、不大于 1.45%的铌、小于 1.45%的钽, 同时 $V + Nb/2 + Ta/4 \leq 1.45\%$ 的钢。所述钢具有 800 - 1150 的硬度值 D, 将在下面解释该值。所述钢还可以包含不大于 0.1%的硼、不大于 0.19%的硫、不大于 0.38%的硒、不大于 0.79%的碲, $S + Se/2 + Te/4$ 的总量保持小于 0.19%、任选存在的不大于 0.01%的钙、不大于 0.5%的稀土金属、不大于 1%的铝和不大于 1%的铜。

根据所述方法, 用基本上两倍比例的钨完全或部分取代钼, 并且考虑引入钢中的钨的量, 添加钛和/或锆以获得足够量的钛和/或锆, 并且调整碳的含量, 从而特别是钢的硬度保持基本上不变。

为此, 例如使用可以计算将在下面解释的硬度值 D 的公式, 或

者通过本领域技术人员已知的任何其它方法，选择无钨钢所需的组成，从而获得用途的所需特性，特别是硬度水平。然后，以用途的至少一种主要特性，特别是硬度保持基本上不变的方式，通过选择钨的含量，同时调整钼的含量和钛或锆的含量以及随后调整碳的含量来改变目的组成。然后，生产出与改变分析相应的钢。“基本上不变”意指例如已经调整组成后钢的硬度等于调整组成前钢的硬度至变化范围为调整前钢的硬度的 5% 以内。为了考虑在制造精确具有事先定义的性质的钢时的实际困难，引入所述容许误差。但是，优选所得的特性与调整组成前钢的目的特性尽可能相似。因此，优选容许误差只有 2%，并且在只关心目的特性的范围内，已经调整组成后的硬度目的特性等于调整组成前的硬度目的特性是更加优选的。

在所述方法中，钨的添加量必须大于或者等于 0.21%，优选大于 0.4%，更优选大于 0.7%，并且甚至更优选地大于 1.05%。钼用钨取代得越多，对分聚的作用越明显。但是，该作用取决于钛或锆的含量，这通常导致对钨的最大添加量的进一步限制。

为了获得对分聚的所需作用，钛和锆的含量必须是 $Ti+Zr/2$ 的总量大于或者等于 $0.2 \times W$ ，优选大于或者等于 $0.4 \times W$ ，甚至更优选大于或者等于 $0.6 \times W$ 。但是出于后面给出的原因，过量增加钛或锆的含量是不希望的。那会间接导致钨的添加限度至最大 4.9%。通常，钨的含量保持小于 2.9%，更优选 1.9% 或者甚至小于或等于 0.85%，或者 0.49%。

此外，根据钛和/或锆的含量，必须调整碳的含量，使得单体碳的含量 $C^* = C' - Ti/4 - Zr/8$ 保持基本上不变，即使得已经调整组成后单体碳的含量 C^* 基本上等于调整组成前的碳含量 C (在该公式中， C' 代表已经调整组成后的钢的碳含量)。为了保持钢的硬度和抗热软化性基本上不变，该条件是必需的。在 D 是将在后面解释的硬度值下，希望具有如下关系：

$0.95 \times \text{调整前的 } D \leq \text{调整后的 } D \leq 1.05 \times \text{调整前的 } D$,

或者更优选地:

$0.98 \times \text{调整前的 } D \leq \text{调整后的 } D \leq 1.02 \times \text{调整前的 } D$,

或者甚至更优选地:

调整后的 $D = \text{调整前的 } D$ 。

实践中, 选择要调整的含量的操作包括:

- 根据降低分聚的所需最小程度(表 2、3、4 或附图可以用作这方面的指导), 选择要代替一半比例的钼的钨的含量;
- 根据优先考虑耐磨性还是韧性, 选择 Ti 和/或 Zr 的含量是更高或更低的, 并且因为必需 $(\text{Ti} + \text{Zr}/2) \geq 0.2W$, Ti 和/或 Zr 的含量就钨的添加量而言还必须是足够的;
- 根据上述含量, 求出所需的碳的增加, 即 $\delta C = \text{Ti}/4 + \text{Zr}/8$ 。

现在将说明根据本发明的钢, 所述钢能够通过根据本发明的方法获得并且具有比与先有技术硬度相同的钢具有更少不利的分聚接缝的优点。

根据本发明的钢包含大于 0.35%, 优选大于 0.51%, 并且更优选大于 0.65% 的碳, 以便能够充分地形成碳化物并且达到想要获得的硬度水平, 但是碳小于 1.47% 并且优选小于 1.1% 且甚至更优选小于 0.98%, 以便避免钢过度发脆。从上述已经可以看出, 所述钢包含钛和锆并且那些元素在高温下与碳结合, 以便形成初级碳化物。如此, 在初级钛和锆碳化物形成后, 保持可以对基体的性质起作用的所谓“自由的”的碳是单体碳, 它未与钛和锆结合。这种未与钛和锆结合并且称作 C^* 的碳的量满足: $C^* = C - \text{Ti}/4 - \text{Zr}/8$ (C 、Ti 和 Zr 分别是钢中碳、钛和锆的含量; 下文中也称 C 为“总碳含量”)。这种有效量的碳必须足以允许二级碳化物并且特别是钨和钼的碳化物或者添加到钢中的其它元素的沉淀, 并且从这点来看, 单体碳的含量 C^* 必须大于或者等于 0.3%。但是, 为了不过度抑制基体自身的韧性, 所

述含量必须不超过 1.42%，并且优选 1.1%或者更优选 0.98%，或者甚至更优选 0.79%。

此外，为了便于生产操作，特别是为了减少冷却钢棒或钢板所采取的预防措施，可以优选进一步限制最大总碳含量 C 至 0.85%，或者更优选 0.79%；优选单体碳的含量 C*保持小于 0.60%，或者 0.50%。相反，为了提高钢的机械强度和耐磨性，可以优选选择大于 0.85%的总碳含量 C。根据钢的目的用途，根据情况进行所述选择。

钢包含大于 0.05%的硅，因为该元素是脱氧剂。此外，它对钢的硬化略微有贡献。但是，为了避免过度使钢变脆并且避免过度降低其对热状态下例如通过轧制的塑性形变的适应性，硅的含量必须保持小于或等于 1.5%并且优选小于或等于 1.1%，更优选 0.9%，并且甚至更优选小于或等于 0.6%。此外，为了提高钢的可加工性并且还提高抗氧化性，可以优选强制硅的最小含量为 0.45%并且更优选 0.6%。当用钢制造打算在 450℃ - 600℃量级的相对高温下工作(这需要足够的抗软化性)的工件时，抗氧化性的提高是特别优选的。当需要为这种工作条件获得足够的抗软化性时，优选 Mo + W/2 的含量大于或等于 2.2%。因此，当钼和钨的含量满足 Mo + W/2 的总量大于或等于 2.2%时，尽管这不是唯一的特性，但是硅含量的最小值为 0.45%，或者更优选 0.6%是更加特别有利的。但是，对于一些应用，钢的热导率尽可能大是优选的。在此情况下，希望硅的含量保持小于 0.45%，并且优选尽可能地低。

为了改善钢的可淬火性，钢包含不大于 1.95 重量%的锰，但是为了限制将导致不良的可锻性和不足的韧性的分聚，该含量必须优选保持小于或等于 1.5%并且甚至更优选小于或等于 0.9%。应当指出特别是为了固定硫，钢仍包含少量的锰，即十分之几个百分点，并且优选 Mn 的含量为至少 0.4%。

为了调节可淬灭性并且提高韧性，钢包含不大于 2.9%的镍。但

是, 该元素是非常昂贵的。因此, 通常不追求大于 0.9% 或者甚至 0.7% 的镍含量。钢可以不含镍, 但是当有意不添加镍时, 钢包含不大于 0.2%, 或者不大于 0.4% 的源于生产操作的残余物形式的镍是有利的。

为了获得足够的可淬灭性并且增加回火期间的硬化, 钢包含大于 1.1% 并且更优选大于 2.1%, 并且甚至更优选大于 3.1%, 并且甚至大于 3.5% 的铬, 但是为了不抑制特别是包含 Mo 和/或 W 并且本身在硬化方面比碳化铬更有效的二级碳化物的形成, 铬的含量小于 7.9% 并且更优选小于 5.9% 或者甚至更优选小于 4.9%。

这些二级碳化物(即, 在重新奥氏体化(re-austenitization)后冷却期间并且特别是在回火操作期间形成的二级碳化物)比莱氏体碳化物(在固化结束时任选获得的)细得多且量大得多。因此, 它们高度促进了回火后金属基体的硬化。它们在增强基体的耐磨性方面也是有利的, 从而限制了自身对钢的耐磨性产生很大附加贡献的而且非常硬的、粗的钛和/或锆的碳化物分离的危险。

在铬的含量范围内, 区分两个优选的子范围是有利的。当铬的含量足够高时, 该元素趋向于特别是在分聚接缝中形成粗的并且或多或少以枝晶间网状排列的莱氏体型碳化物。尽管对耐磨性产生有利的作用, 但是那些碳化物特别是促进了至少基体的局部变脆。因此, 当需要先于韧性优选考虑硬度和耐磨性时, 需要选择促进莱氏体型碳化物存在的大于或者等于 3.5% 的铬含量。另一方面, 当需要促进钢的韧性, 同时接受耐磨性的轻微降低时, 优选选择小于或等于 2.5% 的铬含量。但是, 在 2.5 – 3.5% 铬的中间界限中, 因为钨倾向于形成在温度方面比钼的碳化物更稳定的碳化物而趋向于通过优先与之结合来促进莱氏体碳化铬的形成, 所以或者通过限制单体碳含量小于 0.51%, 或者通过限制钨的含量或者限制钨与钼的比例, 还可以优先考虑韧性。

钢中钼和钨的含量将必须满足 $Mo + W/2$ 的总量大于或等于

0.61%，优选大于或等于 1.1%，并且更优选大于或等于 1.6%。为了获得高水平的硬化以及更好的抗热软化性，特别是当钢的用途使其加热至能超过大约 450℃ 的温度时，大于 2.2% 的所述含量是更加优选的。例如，钢用于在中等温度下从钢来生产工具就是这种情况。在此情况下，根据所需硬度和在工件上实施回火所需的温度， $\text{Mo} + \text{W}/2$ 的总量可以不大于 2.9% 或 3.4%，或者甚至是 3.9%。为了达到非常高水平的基体耐磨性并且最大程度地限制暗中破坏的作用并因此尽可能延迟 Ti 和/或 Zr 的粗碳化物的分离， $\text{Mo} + \text{W}/2$ 甚至可以不大于 4.4%。

因为与本发明方法的应用无关，产生 Mo 的碳化物的物质的分聚随着那些元素的含量增加，所以与 $(\text{Mo} + \text{W}/2)$ 含量，即施用本发明方法前的钼含量的增加相关的优点使得考虑它更有利。

在前面对于 $\text{Mo} + \text{W}/2$ 组合含量的定义的范围内，为了最佳使用钨的特殊作用，钨的含量最少为 0.21%，优选至少 0.41%，甚至更有利地至少 0.61%。

如上所述，钨的含量取决于降低分聚的不利作用的所需程度，并且还可以包括合金的成本。所述含量可以不大于 4.9%，但是通常不超过 1.9%；通常小于或等于 0.90% 或者甚至 0.79% 的含量是足够的。

钼的含量可以是痕量的，但是优选至少等于 0.51%，并且更优选甚至至少等于 1.4%，甚至更优选至少 2.05%。此外，根据所需的抵抗性水平，不一定超过 4.29% 的限制含量，优选 3.4% 或者更优选 2.9%，该限制还允许进一步降低钼对硬化分聚的贡献。

但是，当铬的含量为大约 2.5% - 3.5%，并且当单体碳的含量 $C^* = C - \text{Ti}/4 - \text{Zr}/8$ 大于或等于 0.51% 时，太高的钨含量可能导致或多或少与钨结合的碳化铬的形成。那些碳化物是粗的并且或多或少以枝晶间网状排列的莱氏体型，它们促进了至少基体的局部变脆。为了克服所述缺点，当铬的含量为 2.5% - 3.5%，并且单体碳的含量 C^* 大于或

等于 0.51%时,在钼的含量小于 1.21%时限制钨的含量不大于 0.85%,并且在钼的含量大于或等于 1.21%时限制钨/钼的比例不大于 0.7。

为了在降低分聚接缝的不利作用方面获得所需的效果,必须调整钛和锆的含量,使 $Ti + Zr/2$ 的总量为至少 0.21%并且优选大于或等于 0.41%,或者更优选大于或等于 0.61%。此外,所述元素促进了改善耐磨性的粗碳化物的形成。但是,为了不过度抑制韧性, $Ti + Zr/2$ 的总量必须保持小于 1.49%并且优选小于 1.19%,或者小于 0.99%或者甚至小于 0.79%。此外,必须根据需要优先考虑钢的韧性还是其耐磨性来调整钛和锆的含量。从这一点来看,当需要优先考虑钢的韧性时, $Ti + Zr/2$ 的总量必须优选保持小于 0.7%。当需要优先考虑钢的耐磨性时, $Ti + Zr/2$ 的总量必须优选大于或等于 0.7%。最后,为了有效的,即导致粗碳化物的形成,钛和锆的含量对于碳的总含量 C 而言必须是足够的。为此,乘积 $(Ti + Zr/2) \times C$ 必须大于或等于 0.07,优选大于或等于 0.12,并且更优选地大于或等于 0.2。

为了符合对于 $Ti + Zr/2$ 所示的含量范围,钛的最小含量可以是 0%,或者痕量水平,但是其优选为至少 0.21%,并且更优选 0.41%,甚至更优选 0.61%;锆的最小含量可以是 0%,或者痕量水平,但是其优选为至少 0.06%,或者更优选至少 0.11%。钛的最大含量为 1.49%,但是可以降低至 1.19%或者 0.99%,更优选降低至 0.79%或者甚至 0.7%,而锆的最大含量为 2.9%,优选 0.9%,更优选 0.49%。

钢任选地包含不大于 1.45%的钒、不大于 1.45%的铌、不大于 1.45%的钽, $V + Nb/2 + Ta/4$ 的总量小于 1.45%,更优选小于 0.95%并且甚至小于 0.45%。最小含量是 0%或者痕量水平,但是其优选为至少 0.11%,并且更优选至少 0.21%。如对于值 D 的公式所示, $V + Nb/2 + Ta/4$ 的添加水平有助于稳固抗性和对回火的响应。

所述元素具有通过 MC 型碳化物的沉淀而大大改善抗软化性的优点。从那些元素中,选择钒并且以 0.11% - 0.95%的含量添加钒是

优选的。尽管可以使用铌，但是铌具有在比钒的沉淀温度更高的温度下沉淀的缺点，这会大大降低钢的可锻性。因此，不推荐存在铌，并且在任何情况下，优选铌的含量保持小于 1% 或者 0.5%，或者甚至更优选小于 0.05%。

为了改善可加工性，钢任选地包含不大于 0.095%，或者甚至不大于 0.19% 的硫，但是当追求良好的韧性时小于 0.005% 的含量是优选的。

为了获得在加工方面对响应的明显作用，优选硫的最小含量为 0.011% 或者更优选 0.051%。

可以由两倍重量的硒或者四倍重量的碲完全或部分代替硫，但是通常优选添加更经济的硫。此外，为了促进形成对于切割工具更加有效的混合的 Mn 和 Ca 的硫化物，通过添加含量不大于 0.010% 的钙来补充硫对可加工性的有利作用是有利的。因此，钢可以包含不大于 0.38% 的硒、不大于 0.76% 的碲和不大于 0.01% 的钙， $S + Se/2 + Te/4$ 的总量保持小于或等于 0.19%。

为了便于碳化物的核化并且改进结构，钢任选包含不大于 0.5% 的稀土金属，并且为了改善可淬火性，任选包含不大于 0.1% 的硼。

钢还可以包含不大于 1% 的铜。该元素是不优选的，但是可能通过分离起来太昂贵的原材料来引入。但是，因为铜元素对于热状态下的延展性有不利的的作用，所以必须限制铜的含量。就此而言，至少当铜的含量超过大约 0.5% 时，存在含量至少等于铜含量的 Ni 是优选的。足够量的镍减弱了铜的不利作用。

同样，钢可以包含铝，铝像硅一样有助于液态金属的脱氧。铝的含量处于痕量水平，或者更优选地至少 0.006%，甚至更优选地至少 0.020%。此外，为了保证足够的纯度，该元素的含量必须保持小于 1%，并且优选不超过 0.100%，并且甚至更优选小于 0.050%。

由铁和源于生产操作的杂质构成组成的剩余部分。应当指出当在

生产操作期间有意不添加一种元素时，其含量为 0%或者痕量水平，即根据该元素，与分析方法的检测限或者与通过原材料引入的量相应而对性质没有显著的影响。

钢回火期间获得的硬化取决于基体中溶解的元素，例如锰、镍和硅，但是特别是取决于可以形成碳化物的元素，例如钼、钨、钒、铌，和较小程度的铬以及基体中的单体碳，即尚未被钛和锆固定的碳。如上所述，单体碳的含量是 $C^* = C - \text{Ti}/4 - \text{Zr}/8$ 。

本发明人证实可以通过下面的公式根据化学组成来评价钢的硬化：

$$D = 540 (C^*)^{0.25} + 245 (\text{Mo} + \text{W}/2 + 3 \text{V} + 1.5 \text{Nb} + 0.75 \text{Ta})^{0.30} + 125 \times \text{Cr}^{0.20} + 15.8 \times \text{Mn} + 7.4 \times \text{Ni} + 18 \times \text{Si}。$$

D 是代表源于在标准回火条件(550℃下 1 小时)下回火的硬化的硬度值。D 的值越高，在特定温度下回火后的硬度越高，或者使之达到给定硬度水平的温度越高。

此外，如本领域技术人员所已知，在给定的 D 值下，硬度根据温度和回火时间变化。

应当指出上述公式既适用于根据本发明的钢，或者通过根据本发明的方法获得的钢，又适用于施用根据本发明的方法的初始钢。在所有情况中，要考虑的含量是进行计算的钢的有效含量。这就是当对不含任何钨、钛或锆的初始钢运用上述公式时， C^* 由 C 代替，因为在此情况下 $C^* = C$ ，并且术语 W/2 因为等于 0 而消失的原因。

一般来说，系数 D 为 800 – 1150。但是，根据用户所需的硬度水平和希望的回火温度可以将该范围分成子范围。特别地，D 值在下列范围内：

- 800 – 900
- 901 – 950
- 951 – 1000

- 1001 – 1075

- 1076 – 1150。

在上述范围内，在 550℃回火 1 小时后获得的典型硬度水平通过表示分别在如下量级：45HRC、52HRC、57HRC、60HRC 和 63HRC。

考虑上述所有条件，对于根据本发明的钢，可以选择如下定义的组成的优选范围：

$$0.55\% \leq C \leq 1.1\%$$

$$0.21\% \leq Ti \leq 1.19\%$$

Zr: 0%或者痕量水平

$$0.05\% \leq Si \leq 0.9\%$$

$$Mn \leq 0.9\%$$

$$Ni \leq 0.9\%$$

$$2.1\% \leq Cr \leq 4.9\%$$

$$2.05\% \leq Mo \leq 2.9\%$$

$$0.21\% \leq W \leq 0.79\%$$

$$0.21\% \leq V \leq 0.45\%$$

Nb: 0%或者痕量水平。

在所述范围内，可以确定子范围或者组，它们由碳和钛含量的界限来定义并且或多或少与优先考虑韧性或者耐磨性相应。

那些组如下：

组 A:

$$0.85\% \leq C \leq 1.1\%$$

$$0.70\% \leq Ti \leq 1.19\%$$

组 B:

$$0.65\% \leq C \leq 1.1\%$$

$$0.61\% \leq Ti \leq 0.99\%$$

组 C:

$$0.65\% \leq C \leq 0.98\%$$

$$0.41\% \leq Ti \leq 0.79\%$$

组 D:

$$0.51\% \leq C \leq 0.85\%$$

$$0.21\% \leq Ti \leq 0.70\%$$

在上述每组中，可以考虑硬度值 D 的表达式所表示的各种合金元素的影响来调整硬度水平。

在给定的硬度水平下，以耐磨性降低为代价，在韧性水平增加的意义上以 A、B、C 和 D 的顺序依次排列各组。

与有利于韧性的优先选择相应的特别有利的实施方案在于调整所述组成，从而获得：

$W = 0.2 - 0.9\%$ 并且 $(Ti + Zr/2)$ 为至少 0.35% ，但是小于 0.49% ，并且 $(Mo + W/2 + 3 V + 1.5 Nb + 0.75 Ta)$ 从最小值 2.5% ，更优选 3.0% ，至最大值 4.5% ，更优选 3.5% ，单体碳 C^* 也为 $0.51\% - 1\%$ ，更优选 $0.6\% - 0.9\%$ 。

与有利于耐磨性的优先选择相应的另一个特别有利的实施方案在于调整所述组成，从而获得：

$W = 0.2 - 0.9\%$ 并且 $(Ti + Zr/2)$ 为至少 0.49% ，但是小于 0.95% ，并且 $(Mo + W/2 + 3 V + 1.5 Nb + 0.75 Ta)$ 从最小值 2.5% ，更优选 3.0% ，至最大值 4.5% ，更优选 3.5% ，单体碳 C^* 也为 $0.51\% - 1\%$ ，更优选 $0.6\% - 0.9\%$ 。

根据本发明，特别是当考虑到液态钢中仍存在的溶解的氮的含量，添加钛和锆后不久液态钢中钛和锆的暂时过量浓度过高时，钛和锆是初级碳化物的形式并且不是在液态钢中易于形成的氮化物的形式是优选的。

因此，为了生产根据本发明的钢，可以按照钛和锆两种元素仅与

氮轻微反应并且充分与碳反应的方式来引入钛和锆。这可以通过当添加 Ti 和 Zr 时,在钢的液相期间防止 Ti 或 Zr 的暂时过量浓度来实现。

为了制造根据本发明的钢工件,可以实施如下步骤:

- 首先,通过熔化钛和/或锆以外的所有根据本发明的类型的元素来生产液态钢,

- 然后,向熔融钢浴中添加钛和锆,一直防止熔融钢浴中钛和/或锆的局部浓度过量。

然后,以半成品,例如锭件或钢板的形式浇铸钢,通过在热状态下塑性形变,例如通过轧制来形成半成品,然后使所得产品接受任选的热加工操作。

为了在防止任何局部浓度过量的同时向液态钢中引入钛和锆,可以实施各种方法,并且特别是可以:

- 向覆盖液态钢浴的熔渣中加入钛和/或锆,使钛和锆在钢浴中缓慢扩散;

- 在由气体或者任何其它适当方法搅拌液态钢浴的同时,通过由所述元素组成的金属丝以连续的方式加入钛和/或锆;

- 在由气体或者任何其它方法搅拌钢浴的同时,通过将包含所述元素的粉末吹入液态钢浴中来加入钛和/或锆。

根据本发明,优选使用如上所述的各种实施方案。但是,可以理解可以使用允许防止钛和/或锆局部过量浓度的任何方法。

但是,添加 Ti 和 Zr 的特定方法对生产本发明所述的钢不是必需的,而是任选的。

可以使所生产的工件接受的热加工操作是加工钢的传统类型。这种热加工操作可以任选地包括一次或多次退火操作以便于切割和加工,然后奥氏体化,接着在根据适应其厚度的方法冷却,例如在空气或油中冷却,然后任选地根据所要实现的硬度水平进行一次或多次退火操作。

通过上述方法, 获得与根据先有技术的钢工件具有相同的主要用途特性的钢工件。但是, 相对于那些在根据先有技术的工件中可以看见的接缝, 这些工件具有大大减弱的分聚接缝。因此, 这些工件更容易加工或者焊接并且具有高于根据先有技术的工件的韧性。

通过实施例并且为了举例说明钼和钛或锆之间的协同作用, 可以生产公称组成如表 1 中所示的钢中的工件。表 1 表示了化学组成、硬度系数 D 的值和分聚系数 Γ_s , 分聚系数 Γ_s 考虑了能够产生二级硬化的在分聚接缝中的钼和钨的累积硬化和脆化分聚。为此, 为了正确考虑除了可以在粗的钛和锆的碳化物中固定的钼和钨以外(它们自身容易包含钼或钨, 形成混合的碳化物(Ti Zr Mo W)C)基体中的其它钼和钨的含量, 在抑制粗的碳化钛的同时, 使用微探针测量钼和钨在分聚接缝内(Mos 和 Ws)和分聚接缝外(Moh 和 Wh)的含量。如此, Mo 和 W 的硬化和脆化部分将理解为是关于金属基体的。

如此, $(Mo + W/2)$ 累积含量的分聚率 $\Gamma_s MW$ 定义如下:

$$\Gamma_s MW = ((Mos + Ws/2) - (Moh + Wh/2)) / (Moh + Wh/2)。$$

已经保留了标准 $Mo + W/2$, 因为它代表了元素 Mo 和 W 在分聚接缝内部和这些接缝外部的累积硬化贡献。

表 1

		C	Ti	Zr	C*	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	W	V	Nb	Mo+ W/2	D	$\Gamma_s MW$
a ₁	比较	0.31	0	0	0.31	0.2	0.7	0.4	3	0.75	0	0.10	0	0.75	825	133
a ₂	比较	0.31	0	0	0.31	0.2	0.7	0.4	3	0.55	0.4	0.10	0	0.75	825	137
a ₃	本发明	0.41	0.40	0	0.31	0.2	0.7	0.4	3	0.55	0.4	0.10	0	0.75	825	106
b ₁	比较	0.6	0.4	0	0.5	0.5	0.5	0.3	6.5	2.2	0	0.3	0	2.2	999	128
b ₂	比较	0.75	0.8	0.4	0.5	0.5	0.5	0.3	6.5	2.2	0	0.3	0	2.2	999	131
b ₃	本发明	0.75	0.8	0.4	0.5	0.5	0.5	0.3	6.5	1.5	1.4	0.3	0	2.2	999	98
c ₁	比较	0.80	0.25	0	0.74	0.9	0.45	0.25	3.9	2.1	0	0.28	0	2.1	1028	130
c ₂	本发明	0.80	0.25	0	0.74	0.9	0.45	0.25	3.9	1.2	1.8	0.28	0	2.1	1028	121
c ₃	本发明	0.95	0.85	0	0.74	0.9	0.45	0.25	3.9	1.2	1.8	0.28	0	2.1	1028	93
d ₁	比较	1.25	1	0	1	1	0.5	0.2	5	2.4	0	0.6	0	2.4	1117	127
d ₂	本发明	1.25	1	0	1	1	0.5	0.2	5	2.0	0.8	0.6	0	2.4	1117	107
d ₃	本发明	1.25	1	0	1	1	0.5	0.2	5	1.5	1.8	0.6	0	2.4	1117	91

实施例 a₁、b₁、c₁ 和 d₁ 相应于参考钢，即在实施根据本发明的方法前选择其组成的钢。除了不符合与钨和钛相关的条件的实施例 a₂ 和 b₂ 外，其它实施例来自那些通过根据本发明的方法的参考钢。

实施例 a₁、a₂ 和 a₃ 具有相同的硬度。实施例 a₂ 从实施例 a₁ 通过用 0.40% 钨代替 0.20% 钼而不添加一点钛获得。可以理解分聚率没有明显改变。

根据本发明的实施例 a₃ 从实施例 a₁ 不仅通过用 0.40% 钨代替 0.20% 钼而且还添加 0.40% 钛并因此调整碳来获得。可以理解该钢的分聚率相对于实施例 a₁ 和 a₂ 的分聚率非常大地降低。

同样，实施例 b₁、b₂ 和 b₃ 表明添加钛和锆而不添加一点钨没有任何作用(比较 b₁、b₂)，而在存在部分代替钼的钨时出现所需的作用(比较 b₂、b₃)。

实施例 c₁、c₂ 和 c₃ 表明在相同添加量的钨下，钛添加量的增加对于分聚具有有利的作用。

同样，实施例 d₁、d₂ 和 d₃ 表明因为钛或锆的含量是充足的，所以钨含量的增加具有有利的作用。

为了阐明比例 $(Ti + Zr/2)/W$ 对于钨分聚的作用，还可以看与参考浇铸 5、7、1、9、6、2、18、13、17 和 3 的钢相应的实施例，除了参考浇铸外，所有这些钢均与本发明相应。表 2 中列出了那些浇铸中主要元素的含量；组成的剩余部分是铁和源于生产操作的杂质。

表 2

浇铸号	C	Ti	Zr	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	W	V	Nb
参考	0.82	0	0	0.35	1.15	0.25	5.00	0.90	0.57	0.11	0.00
5	0.37	0.20	0.00	1.00	0.50	0.20	3.00	1.50	0.60	0.20	0.00
7	0.62	0.55	0.21	0.50	0.40	1.20	2.20	1.00	1.50	0.20	0.15
1	0.37	0.35	0.00	1.00	0.50	0.20	3.00	1.50	0.60	0.20	0.00
9	0.75	0.80	0.40	0.50	0.50	0.30	6.50	1.40	1.50	0.30	0.00
6	0.50	0.50	0.00	0.40	0.60	0.20	5.00	1.20	0.60	0.25	0.10
2	0.41	0.42	0.00	0.20	0.70	0.40	3.00	0.40	0.50	0.10	0.00
18	0.95	0.85	0.00	0.90	0.45	0.25	2.10	1.60	0.95	0.28	0.00
13	1.00	1.00	0.00	0.60	0.60	0.20	3.80	1.00	1.00	0.25	0.20
17	1.25	1.00	0.00	1.00	0.50	0.20	5.00	2.40	0.80	0.60	0.00
3	0.55	0.95	0.00	0.25	0.70	0.30	2.50	0.45	0.45	0.10	0.00

表 3 表明了是具有公称钨含量的分聚接缝中, $Ti + Zr/2$ 的总量、W 的含量、比例 $(Ti+Zr/2)/W$ 和 W 含量的关系 Ws/W 。

根据关系 $(Ti+Zr/2)/W$ 的值, 在附图的图解中已经给出关系 Ws/W 的值。

表 3

浇铸号	$Ti+Zr/2$	W	$(Ti+Zr/2)/W$	Ws/W
参考	0	0.57	0	2.7
5	0.2	0.6	0.33	1.95
7	0.66	1.5	0.44	1.55
1	0.35	0.6	0.58	1.73
9	1	1.5	0.67	1.15
6	0.5	0.6	0.83	1.48
2	0.42	0.5	0.84	1.52
18	0.85	0.95	0.89	1.12
13	1	1	1	1.09
17	1	0.8	1.25	0.94
3	0.95	0.45	2.11	0.79

图解表明一旦关系 $(\text{Ti}+\text{Zr}/2)/\text{W}$ 超过 0.2, 关系 Ws/W 就变成基本上小于 2。还可以看出当 $(\text{Ti}+\text{Zr}/2)/\text{W}$ 增加时 Ws/W 有规律地降低, 而对于不含任何钛或锆的参考浇铸, Ws/W 是 2.7。

还通过与表 4 中所示的分析相应的实施例举例说明了本发明, 表 4 也表明在所有情况中关系 Ws/W 均小于 1.6 并且甚至可以小至 0.67。

表 4

浇铸号	C	Ti	Zr	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	W	V	Nb	Ws/W
21	0.82	0.41	痕量	0.9	0.6	1.5	2.7	2.2	0.5	0.25	痕量	1.51
22	0.95	0.83	0.2	0.8	0.6	0.2	4.1	2.3	0.3	0.25	痕量	0.67
23	0.94	0.92	痕量	0.7	1.3	0.2	3.2	2.5	0.5	0.4	痕量	0.84
24	0.81	0.42	痕量	0.9	0.8	0.2	4.4	1.4	0.7	0.15	0.20	1.65
25	0.72	0.4	痕量	0.9	0.3	0.2	5.5	1.6	0.5	0.15	痕量	1.52
26	0.79	0.71	0.4	0.9	0.6	0.2	4.4	1.5	0.5	0.15	痕量	0.85
27	1.02	0.38	痕量	0.9	0.9	0.3	2.1	1.5	0.5	0.15	痕量	1.54
28	0.8	0.44	痕量	0.2	0.6	1.4	2.7	2.1	0.5	0.25	痕量	1.42
29	0.95	0.85	痕量	0.3	0.6	0.2	4.0	2.3	0.4	0.20	痕量	0.77
30	0.95	0.88	痕量	0.2	1.4	0.2	3.1	2.6	0.5	0.4	痕量	0.83
31	0.8	0.42	痕量	0.3	0.9	2.1	4.7	1.5	0.7	0.15	痕量	1.57
32	0.7	0.4	痕量	0.3	0.3	1.2	3.5	1.4	0.5	0.15	0.25	1.47
33	0.8	0.9	痕量	0.2	0.4	0.3	3.2	1.5	0.5	0.15	痕量	0.82
34	1	0.44	痕量	0.5	0.4	0.2	4.5	1.2	0.5	0.15	痕量	1.44
35	0.71	0.41	痕量	0.4	1.6	0.2	6.1	1.2	0.5	0.75	痕量	1.46
36	0.91	0.92	痕量	0.1	0.9	0.4	5.7	0.6	0.8	0.65	痕量	1.03
37	1.25	0.95	痕量	0.9	0.6	1.7	4.1	3.1	0.9	0.35	0.35	1.03

这些实施例还表明了硅含量对钢的热导率的影响以及因此当钢用来生产需要良好热导率的工具时强制低的硅含量的优点。由实施例对 21 和 28、22 和 29、23 和 30 举例说明了这种作用。在每对那些实施例中, 实施例仅在硅含量方面是有很不同。热导率水平如下:

实施例 n° 21: Si = 0.9% 热导率 = 20.6 W/m/K

实施例 n° 28: Si = 0.2% 热导率 = 25.1 W/m/K

实施例 n° 22: Si = 0.8% 热导率 = 21.3 W/m/K

实施例 n° 29: Si = 0.3% 热导率 = 24.4 W/m/K

实施例 n° 23: Si = 0.7% 热导率 = 20.7 W/m/K

实施例 n° 30: Si = 0.2% 热导率 = 23.6 W/m/K

这样，可以看出低含量水平的硅使热导率显著增加。在实施例的情况下，热导率的增加为大约 15% - 大约 25%。

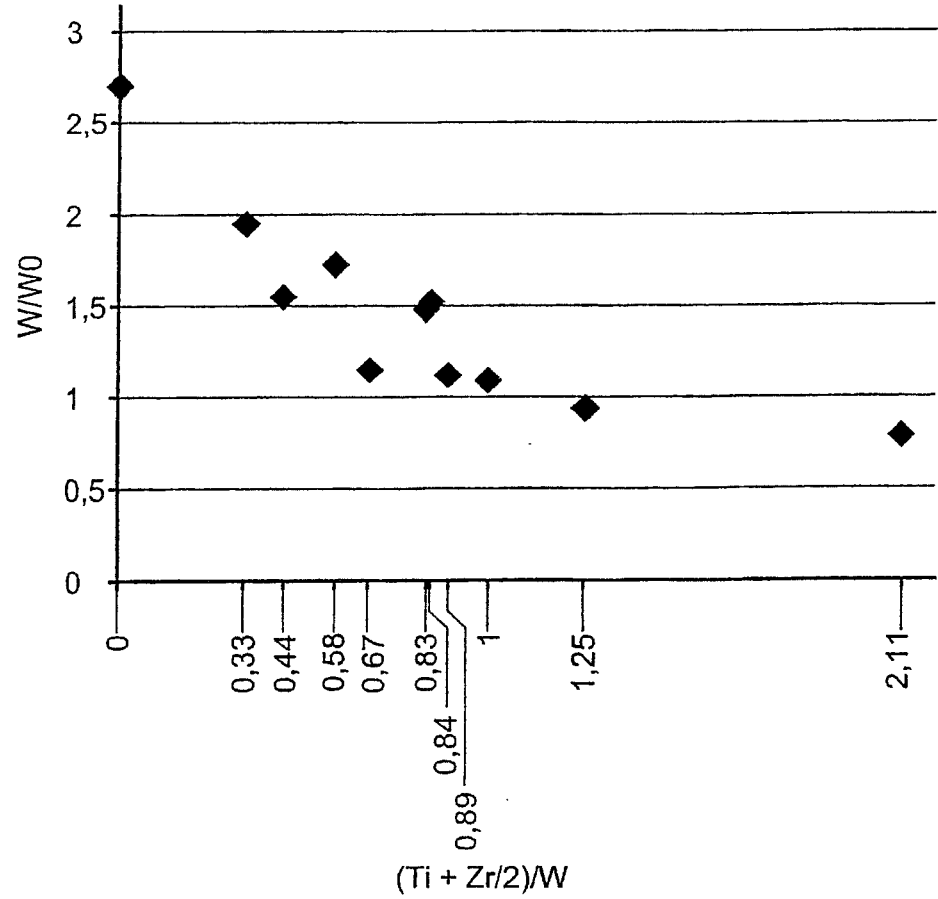


图 1